

Fossilfri reservkraftanläggning i Håbo – en jämförande systemstudie av fossilfri reservkraft till pumpstation för spillvatten

Fossil free backup-power in Håbo
– a comparative systemic-study of fossil free backup-power
for a pump station for waste water

Sofia Borg, Markus Broman, Philip Clarstedt, Madeleine Eide, Ellinor
Lernstål, Oskar Lundqvist, Emilia Udd, Alex Viklander

Kandidatuppsats i teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Examensarbete 2021:12
ISSN 1654-9392
Uppsala 2021

Fossilfri reservkraftanläggning i Håbo-en jämförande systemstudie av fossilfri reservkraft till pumpstation för spillvatten

Fossil free backup-power in Håbo – a comparative systemic-study of fossil free backup-power for a pump station for waste water

Sofia Borg, Markus Broman, Philip Clarstedt, Madeleine Eide, Ellinor Lernstål, Oskar Lundqvist, Emilia Udd, Alex Viklander

Handledare: Anders Larsolle, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: David Ljungberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 15 hp
Nivå, fördjupning och ämne: Grundnivå, G2E, teknik
Kurstitel: Självständigt arbete i energisystem
Kurskod: EX0946
Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp
Kursansvarig institution: energi och teknik

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2021
Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2021:12
ISSN: 1654-9392
Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: HVO, vätgas, batterier, solceller, klimatpåverkan

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Denna studie bygger på Håbo kommuns initiativ mot en omställning från fossila bränslen till förnyelsebara alternativ i kommunens verksamhet. Syftet med denna studie var att utvärdera olika system för en pålitlig fossilfri reservkraftanläggning till en pumpstation i Håbo kommun. Den befintliga anläggningens reservkraftverk drivs av ett konventionellt dieselaggregat. Utvärderingen av de alternativa systemen gjordes med avseende på anläggningens klimatpåverkan och teknikens tillgänglighet på marknaden. Även en översiktlig ekonomisk analys utförs. Metoden bygger på ett systemanalytiskt angreppssätt där ett brett spektrum av alternativa system utvärderas. Därefter valdes tre relevanta alternativ ut, vilka studerades på en djupare systemnivå. De tre olika förslagen var solceller på taket kombinerat med litium-jonbatterier, HVO (biodiesel) med dieselgenerator och vätgaslagring med bränslecell. Studien resulterade i en jämförelse av för- och nackdelar, framtidsutsikter, tillgänglighet, ekonomi för de tre valda alternativen. Avslutningsvis drogs slutsatsen att alla systemen är implementerbara men att HVO-systemet är mer konkurrenskraftigt ekonomiskt medan de andra har stor potential i framtiden.

Nyckelord: HVO, vätgas, batterier, solceller, klimatpåverkan

Abstract

This study is based on the initiative from Håbo municipality regarding a conversion from fossil fuels to renewable alternatives. The purpose with this study is to evaluate various systems regarding a reliable fossil free backup-power facility to possibly be implemented in powering a pump-station in Håbo municipality. The current backup power plant is powered by a traditional diesel generator. Furthermore, the report seeks to analyze the emissions of the whole facility, analyze the accessibility on the market and also present a synoptic economic analysis. The methodology of the study consists of systematic studies with a wide spectrum of choices which culminates in a comparative of all the technologies and systems. Thereafter, relevant and applicable alternatives were evaluated further, which led to three favorable systems to be implemented in Håbo municipality. These systems were solar panels combined with lithium ion-batteries, HVO (biofuel) combined with a generator and finally hydrogen storage combined with a fuel cell. The study result in a comparison regarding advantages and disadvantages of the three different systems in connection to future possibilities, availability, economy and start-up time. In conclusion, all systems can be implemented however the HVO-system is preferable regarding the economical aspect. The other systems have great potential in the future.

Keywords: HVO, hydrogen gas, batteries, solarcells, global warming potential

Innehållsförteckning

1. Inledning	5
2. Metod	5
2.1 Datainsamling och systemstudie	5
2.2 Anläggningen och förutsättningar	6
2.3 Beräkningar	6
3. Resultat.....	6
3.1 Elproduktion.....	7
3.1.1 Teori-Solenergi.....	7
3.1.2 Potential-Solenergi	7
3.1.3 Val av teknik- Solenergi.....	7
3.1.4 Utsläpp och klimatpåverkan- Solenergi	8
3.1.5 Teori- Vindenergi	8
3.1.6 Marknad och potential- Vindenergi.....	8
3.2 Lagring	9
3.2.1 Teori- Batterier	9
3.2.2 Blybatterier.....	9
3.2.3 Natriumsvavelbatteri	9
3.2.4 Flödesbatterier	9
3.2.5 Litium-jonbatteri	10
3.2.6 Superkondensatorer	10
3.2.7 Komprimerad luft.....	10
3.2.8 Vätgas.....	10
3.3 Biodrivmedel.....	12
3.3.1 Hydrated Vegetable Oils (HVO)	12
3.3.2 Biogas.....	13
3.4 Aktuella lösningar – tre system	14
3.4.1 Solceller och batterilagring.....	14
3.4.2 Bränsleceller och vätgaslagring.....	16
3.4.3 Generator och HVO.....	17
4. Diskussion	18
5. Slutsats	19
6. Referenser	20

1. Inledning

Håbo kommun har sedan 2019 arbetat aktivt med att minska verksamhetens klimatpåverkan. Nästa steg i utvecklingen är att fasa ut behovet av fossila bränslen för drift av kommunens anläggningar, det vill säga göra dem fossilfria. Den anläggning som är näst på tur i arbetet är en fossilt dieseldriven reservkraftsanläggning till en pumpstation för spillvatten. Spillvatten som passerar denna pumpstation kommer från ca 7000 hushåll i Håbo kommun. Spillvattnet består av vatten som förorenats från olika hushållsprocesser som exempelvis diskning, dusch, tvätt och toalett. Att ha en fungerande pump i alla lägen är en fundamental funktion för att spillvattnet skall kunna transporteras till ett reningsverk samt förhindra översvämningar i olika delar av systemet vid stopp. Vid stopp skulle det kunna leda till att orenat vatten läcker ut i naturen eller att hushåll inte kan bli av med spillvatten. En reservkraftsanläggning bidrar således till förutsättning för kommun samt invånare att nyttja en basresurs som vatten trots strömavbrott utan att spillvattnet orenat skulle förorena natur eller problem i hemmet. Utfasning av fossila energikällor till fördel för förnybara energibärare har stora möjligheter att minska klimatpåverkan. Men alternativa system för reservkraft behöver utvärderas ur fler aspekter än klimatpåverkan för att kunna göra rationella och objektivt grundade val. Ett reservkraftverk bör vara tillförlitligt sett till kort uppstartstid och önskad varaktighet för att kunna leverera energi vid bortfall av elnätet. För att systemet ska kunna ersätta den traditionella fossilt drivna reservkraftsveket bör det också vara ekonomiskt försvarbart.

Projektets syfte är därmed att undersöka hur en pålitlig fossilfri reservkraftsanläggning kan utformas baserat på etablerade tekniker tillgängliga på världsmarknaden. Systemet skall uppfylla de krav på uppstartstid 30 sek och varaktighet 100kW under 10h som pumpanläggningen kräver. Det skall även vara anpassat till pumpanläggningens yta och vara ekonomiskt försvarbart sett till investering och drift. Klimatpåverkan för reservkraftsanläggningen ska vara lägre än för traditionell diesel samt sträva efter att vara så låg som möjligt. Målet med projektet är att utvärdera och ta fram möjliga lösningar för en fossilfri reservkraftsanläggning till pumpstationen i Håbo kommun som uppfyller systemets krav.

2. Metod

2.1 Datainsamling och systemstudie

Metoden för arbetet utgörs av datainsamling kring olika typer av elproduktion, lagringsmöjligheter och biobaserade alternativ. Detta etablerar en översiktlig bakgrund och teori för olika tekniker och undersöker främst klimatpåverkan samt tekniska specifikationer utifrån syftets avgränsningar, även ekonomiska aspekter undersöks översiktligt. Insamlad data sammanfattas i delrapporter och analyseras för att kunna avgöra om lösningen är aktuell för projektet. De lösningar som anses lämpliga undersöks vidare på systemnivå.

Den slutliga rapportens utformning blir således i form av en systemstudie. Först presenteras datainsamlingen för att redovisa vad som undersökts och för att ge underlag till uteslutandet av vissa lösningar. Därefter presenteras tre systemlösningar från den etablerade bakgrunden i datainsamlingen, vilket ger en slutlig resultatdel med djupgående undersökning och beräkning av varje system i sig och enligt avgränsningar. Eftersom syftet är att bidra med ett beslutsunderlag väljs inte ett slutgiltigt system. Slutsatsen presenterar istället tre väl motiverade och aktuella systemlösningar, i detta fall en HVO-diesलगenerator, batteri-solcellssystem samt en välgasdriven bränslecell.

2.2 Anläggningen och förutsättningar

Det har konstaterats att styrande system till pumpar är oberoende reservkraftsanläggningen och är utrustat med ett separat reservkraftsystem. Totala takytan har uppskattats till 105 kvadratmeter med en lutning mellan 0–15 grader. Byggnadens lagringsutrymme är oisolerat och har uppskattats till 24 kvadratmeter golvyta samt 2 meter i takhöjd. Det omkringliggande området är öppet, ingen skuggning och ligger relativt enskilt (Sjölund 2021).

2.3 Beräkningar

Resultatet av beräkningar på systemens klimatpåverkan, ekonomi samt fysiska egenskaper presenteras i rapportens resultatdel. Bakomliggande uträkningar och teori återfinns inte i den slutgiltiga rapporten utan redovisas istället tydligt och nyanserat i delrapporterna.

3. Resultat

Tabell 1: Sammanställning av samtliga undersökta lösningar

	Investerings kostnad, ej installation (SEK)	Driftkostnad (SEK)	Klimatpåverk an (drift)**	Etablerad teknik	Tillförlitlighet	Anpassad för anläggningen
HVO (biodiesle)	125 000 - 300 000	4 342.5 /strömavbrott	32 g CO2- ekv/kWh	Ja	Ja	Ja
Biogas	900 000 - 1 200 000	4 500 - 11 500 /strömavbrott	57 g CO2- ekv/kWh	Ja	Ja	Nej, Storskalig användning och för värme
Solenergi	64 800	0	41 g CO2- ekv/kWh	Ja	Nej, kan ej användas självständigt	Ja
Småskalig Vindenergi	> 100 000	-	12 g CO2- ekv/kWh	Ja	Nej, kan ej användas självständigt	Nej, avsaknad av vinddata.
Vätgas med bränslecell	2 000 000	100 870 /strömavbrott	72 g CO2- ekv/kWh	Ja, men ej i Sverige	Ja	Ja
Blybatterier	2 157 000	-	149 g CO2- ekv/kWh	Ja	Nej, kort urladdning	Ja
Natrium- svavelbatteri	5 484 000	-	176 g CO2- ekv/kWh	Ja, men ej i Sverige	Ja	Nej, storskalig användning.
Zinkbromid flödesbatteri	2 199 000	-	-	Ej kommersiellt	Ja	Nej, storskalig användning.
Vanadin- redox flödesbatteri	4 605 000	-	-	Ja	ja	Nej, storskalig användning.
Litium-jon batteri	2 248 000	-	22–27 g CO2- ekv/kWh	Ja	Ja	Ja
Super- kondensatorer	622 269 000*	-	-	Ja	Nej, kort urladdning, ej lagringskälla	Nej
Komprimerad luft	1 387 100	-	-	Ja	Ja	Nej, storskalig användning och utrymmes brist.

*urladdningstiden är cirka 30 sekunder och blir därför oerhört stor för vår dimensionering.

**per producerad/levererad kWh

3.1 Elproduktion

3.1.1 Teori-Solenergi

I solceller absorberas energi från fotoner och omvandlas till elektrisk energi. Energin hos fotonerna måste antingen motsvara eller vara större än bandgapet hos halvledaren för att omvandlingen ska ske. Absorberade fotoner ger upphov till elektron-hål par, det vill säga - antalet elektroner i en p-dopad halvledare eller antalet hål i en n-dopad halvledare ökar i samband med att fotoner absorberas. Resultatet av denna ökningen är en icke-jämvikt och diffusion mellan ytorna i halvledaren, vilket i sin tur resulterar i en elektrostatisk kraft. Icke-jämvikten resulterar i en diffusiv elektrisk ström mellan ytorna, där elektroner (hål) flödar från den p-dopade (n-dopade) ytan till n-dopade (p-dopade). Solcellen producerar således elektrisk energi genom att den genererar rörelse hos elektronerna (Lundqvist 2021).

3.1.2 Potential-Solenergi

Pumpanläggningens geografiska placering och byggnadens takyta är de två parametrar som avgör potentialen för solkraft. Den geografiska placeringen av anläggningen ger ett normalvärde för globalstrålningen på 950kWh/m². Värdet avläses på SMHIs klimatkarta över globalstrålningen i Sverige. Måttet gäller det horisontella planet (SMHI se Clarstedt 2021). Taket på anläggningen bedöms vara mellan platt och liten lutning (0-15 graders lutning) och riktade i västlig/östlig riktning (Sjölund 2021). Den tillgängliga ytan för placering av solpaneler uppnår 68 kvadratmeter. Detta efter att totalytan uppskattats samt att hinder och underhållsyta räknats bort (Clarstedt 2021).

3.1.3 Val av teknik- Solenergi

Solceller finns i tre olika tekniker på dagens marknad vid applikation på hustak. Monokristallina, polykristallina och tunnfilmssolceller. Tunnfilmssolcellerna har betydligt lägre verkningsgrad än de andra två och kommer därför inte vara aktuellt på pumpanläggningen. Verkningsgraden skiljer sig också mellan mono- och polykristallina solceller trots att de båda är uppbyggda av kisel. Monokristallina solceller består endast utav en kristall. Det bidrar till friare flöden på atomnivå och verkningsgraden blir högre (Clarstedt 2021). Monokristallina solceller är i regel något dyrare än polykristallina men då en högre verkningsgrad ges lämpar de sig bättre för placering på tak (Solcellsoffert se Clarstedt 2021).

För att solpanelerna ska verka med högsta möjliga effektivitet bör de vara kopplade med en optimerare eller till en MPPT (Maximum power point tracker). En optimerare är en liten enhet kopplad till varje enskild panel för att optimera den maximala effekten panelen genererar genom reglering av ström och spänning. En MPPT fungerar på ett liknande sätt men för en hel slinga med paneler. Den har också möjligheten att reglera den utgående spänningen så att den blir kompatibel med exempelvis ett batteri (Clarstedt & Udd 2021). Befinner panelerna sig i olika väderstreck behövs lika många MPPTer som väderstreck då olika vinklar ger varierande effekt under dagen. Antingen behövs en optimerare eller en MPPT för att minska det totala effektbortfallet om delar av anläggningen skuggas eller skadas.

För att koppla solcellsanläggningen till elnätet krävs omvandling från likström (DC) som produceras till växelström (AC). Denna omvandling sker med en 3-fasväxelriktare. Växelriktare innehåller i många fall 1-2 inbyggda MPPTer och därför krävs inga separata MPPTer för systemet. Växelriktaren bör underdimensioneras med ca 10% från anläggningens maxeffekt för att minska kostnader då sällan maxeffekt kan uppnås. (Clarstedt & Udd 2021) Vidare bör komponenter för elsäkerhet som behöver kopplas in vid val av en solcellsanläggning diskuteras med leverantör och certifierad elektriker.

3.1.4 Utsläpp och klimatpåverkan- Solenergi

Solceller har ingen klimatpåverkan under drift. Den process som genererar utsläpp är produktionen av solcellerna. Vid tillverkning är det framförallt utvinning och rening av kisel som är de mest energikrävande processerna. Bidragande faktor till utsläppen är vad för typ av bränsle som används vid energiproduktionen. Används en större del fossila bränslen ger det således en högre klimatpåverkan för solcellerna över dess livstid. Majoriteten av världens solcellstillverkning sker i Kina där en betydande del av produktionen är fossil (Clarstedt 2021). Enligt ipcc:s rapport år 2014 var klimatpåverkan för solceller mellan 26-60g CO₂-ekv/kWh med ett medianvärde på 41g CO₂-ekv/kWh (Schlömer et al se Clarstedt 2021). Valet av solpanel har därför stor påverkan på de slutliga utsläppen. En del leverantörer anger ursprung på deras paneler. I sådant fall ges möjligheten att göra ett aktivt val av solpaneler.

3.1.5 Teori- Vindenergi

En vindkraftturbin omvandlar den kinetiska energin i luften till mekanisk energi som i sin tur omvandlas till elektrisk energi. Det finns två olika modeller, de vindkraftsverk med vertikalt axlade rotorblad (VAWT) och de med horisontellt axlade rotorblad (HAWT). Klimatpåverkan från vindkraft skiljer sig mycket mellan olika sorter och kan variera mellan 3 till 45 g CO₂-ekv/kWh utjämnat på dess livstid, enligt Naturvårdsverket så är utsläppen på ca 12 g CO₂-ekv/kWh (Naturvårdsverket 2015 se Udd 2021).

3.1.6 Marknad och potential- Vindenergi

På marknaden finns det mindre modeller av vindkraftsturbiner som går att placera i urban miljö, för dessa kan diametern på rotorbladen variera mellan 0,5 till 10 meter. Den modell som är dominerande bland mindre vindkraftsturbiner är HAWT. Utbudet är begränsat men det finns flera modeller från återförsäljare som skulle täcka det årliga energibehovet för pumpstationen. I åtanke bör hållas att tekniken är relativt dyr i dagsläget (Udd 2021).

Tillgången av vinddata är begränsad vilket gör det komplicerat att förutse om platsen skulle vara väl lämpad för energiproduktion från vind. För de mindre modellerna finns möjligheter att placera dem på tak, dock kan problem med turbulens uppstå (Udd 2021).

För att få en klar bild över områdets vindtillgång skulle ytterligare projektering behövas då vindflödet minst bör vara 5 m/s i snitt på potentiella platser (Udd 2021). Detta är en av huvudorsakerna till att projektgruppen valt att gå vidare med solceller som teknik för att producera energi till anläggningen. Men även att solceller i dagens läge är en mer utbredd teknik och marknad för småskaligt användande. För de båda teknikerna finns det många för och nackdelar. En viktig aspekt att beakta i detta arbete är att vindkraft oftast har mindre klimatpåverkan än solceller (Clarstedt & Udd 2021) och kan säkert i framtiden med en större marknad bli ett mer konkurrenskraftigt alternativ.

3.2 Lagring

3.2.1 Teori- Batterier

Ett batteri, eller cell som det även kallas, omvandlar kemisk energi till elektrisk energi genom en elektrokemisk reaktion. Den kemiska energin lagras i cellens aktiva material och vid urladdning går en elektrisk ström av elektroner från cellen genom en yttre elektrisk krets. Det aktiva materialet är i detta fall tre olika komponenter. Den negativa elektroden, även kallat anoden, avger elektroner till den yttre kretsen vid urladdning. Den positiva elektroden, även kallat katoden, tar emot elektroner från den yttre kretsen vid urladdning samt elektrolyten som transporterar laddningar mellan elektroderna i cellen (Lernstål, 2021b).

3.2.2 Blybatterier

Blybatteriet är det äldsta laddningsbara batteriet och dess nätstruktur består av en blylegering. Det är ett etablerat batteri men utgör en viss risk för användaren. Exempelvis finns det risk för explosion vid laddning och blybatteriet innehåller även utspädd svavelsyra vilket kan ge hälso- och miljökonsekvenser (Lernstål, 2021b). Tekniken är beprövad i och med dess ålder och batteriet är relativt kostnadseffektivt i jämförelse med dess konkurrenter (Viklander, Broman, Eide & Lernstål, 2021). Nackdelar med batteriet är bland annat att för höga cellspänningar utmynnar i frätande svavelsyradimma samt att användningstiden på uppemot 3 timmar inte täcker anläggningens behov av 10 timmar (Lernstål, 2021b). I och med att kraven på anläggningen inte uppfylls är blybatteriet därmed inte ett alternativ för reservkraftanläggningen.

3.2.3 Natriumsvavelbatteri

Natriumsvavelbatteriet är uppbyggt av en natriumanod tillsammans med en svavelkatod, bägge elektroderna är i flytande fas. Batteriet används främst storskaligt med höga kapaciteter. Den har hög laddning- och urladdnings-effektivitet samt inga självurladdningsegenskaper. Dessutom har den en lång livstid på 15 år och en svarstid på tio millisekunder om ett PCS (Power Conversion System) används. En nackdel med batteriet är att 300-350 Celsius behövs för funktionalitet (Broman & Lernstål 2021). Jämfört med konkurrerande batterier är Natriumsvavelbatteriet dyrt men har jämförelsevis låga utsläpp av CO₂-ekv (Viklander, Broman, Eide & Lernstål 2021). De höga temperaturerna, kostnaden och främst storskalig applicering leder till att Natriumsvavelbatteriet ej lämpar sig för Håbos reservkraftanläggning.

3.2.4 Flödesbatterier

Flödesbatterier lagrar energi i två flytande elektrolyter som skiljs av ett membran. Det sker ingen nedbrytning av material, det här leder till att batterierna har lång livslängd och korta svarstider samt underlättar även återvinningen av materialet då de mesta komponenter kan användas för andra ändamål (Lernstål 2021c). Zinkbromidflödesbatterier är en ny teknik i storskaliga sammanhang. Det anses vara ett lovande batteri i framtiden med dess långa livslängd på 15 år och samt tekniska specifikationer som hög energidensitet och låg självurladdning med försumbar intern resistans (Broman 2021b). Problemet med denna typ av batteri är att det inte är i kommersiellt bruk och därav inte passar i detta projekt. Vanadin-Redoxflödesbatteriet finns etablerat i dagsläget men främst i storskaligt bruk. Batteriet har en låg energidensitet som bidrar till att stora volymer krävs för att täcka behovet och med den tillgängliga yta för projektet är detta problematiskt. Specifikationerna utöver energidensiteten

påminner om andra flödesbatterier så om denne kan höjas är Vanadin-Redox ett miljövänligt och relevant batteri för framtiden (Lernstål 2021c). I dagsläget finns bättre alternativ på marknaden.

3.2.5 Litium-jonbatteri

Litium-jonbatteriet är i dagens samhälle ett välanvänt batteri som bland annat används i elbilar, storskalig nätlagring samt kommersiell småskalig lagring. Batteriets anod består av en grafitmix och katoden består av en metalloxid eller järnsulfat. Energidensiteten för litium-jonbatteriet är hög vilket ger en lägre volym (Eide, Lernstål, Viklander, & Broman 2021). Reservkraftanläggningen har en begränsad markyta och en hög energidensitet är därav att föredra. Uppladdningstiden är i jämförelse med dess konkurrenter kort på 2-3 timmar (Viklander, Broman, Eide & Lernstål, 2021). Detta medför att batteriet har större sannolikhet att hinna återuppladdas vid fler strömbrott med korta intervall till varandra. Litium-jonbatteriet är även i jämförelse med dess konkurrenter relativt billigt och livslängden är lång (Viklander, Broman, Eide & Lernstål, 2021). En mer negativ aspekt med batteriet är att dess klimatpåverkan är hög relativt de andra batterierna. På den positiva aspekten ligger batteriet i framkanten av batteriutvecklingen och används i kommersiellt bruk. Batteritypen används bland annat av Tesla, som är en stor och eftertraktad producent på dagens marknaden (Eide, Lernstål, Viklander, & Broman 2021). Batteriet är väl applicerbart till den planerade reservkraftsanläggningen.

3.2.6 Superkondensatorer

Superkondensatorn är en högkapacitetskondensator och lagrar stora elektriska laddningar. Två porösa elektroder befinner sig i en elektrolyslösning vilket ger upphov till elektrokemiska reaktioner och lagrar laddningar elektrostatiskt. Superkondensatorn har en hög effektdensitet men kort urladdningstid och därmed även låg energidensitet. Den korta urladdningstiden, på ca 30 sek, gör att detta alternativ inte lämpar sig väl som en självständig lagringskälla för reservkraftsanläggningen. Däremot så är superkondensatorer ett alternativ i kombination med andra lagringstyper som kräver snabba starttider. Superkondensatorn opererar länge med korta livscyklar och har stor potential för användning vid stora kapaciteter (Broman, 2021a).

3.2.7 Komprimerad luft

Komprimerad luft som lagringskälla innebär att luft komprimeras i reservoarerna när tillgången av elektrisk energi är hög. När efterfrågan ökar hettas den komprimerade luften upp, som expanderar och i en generator omvandlas till elektrisk energi genom en turbin. Reservoarerna som den komprimerade luften lagras i är oftast underjordiska akvifärer eller grottor men lagring på detta sätt är inte möjligt för vårt projekt. Alternativet att lagra ovan jord finns också och i detta fall i kärl eller rörledningar. Problemet är att lagring ovan jord medför sämre egenskaper än lagring under jord. Lagring ovan jord är betydligt dyrare då lagringsmetoden här måste tillföras och maxkapaciteten för dessa lagringsmetoder på 50 MW ger en urladdningstid på 2 – 6 timmar vilket ej täcker anläggningens behov på 10 timmar. Ett ytterligare problem är den enorma volym som tanken väntas uppta om den placeras ovan jord. En volym med storleken 600 000 m³ får inte plats på projektets givna markyta och alternativet om komprimerad luft är ej möjligt (Lernstål, 2021a).

3.2.8 Vätgas

Vätgasproduktion och användning består av tre huvuddelar, den första delen är att producera vätgasen med elektrolys. Den andra delen är lagringen av vätgasen, då trycksätts vätgas i gasform eller till vätska i tankar. Tredje delen är bränslecellen vilken är en elektrokemisk

enhet som använder vätgas för att producera el, där syrgas är restprodukt (Sjöberg & Widing 2020 se Eide & Lundqvist 2021).

För elektrolys finns det tre olika tekniker, alkalisk vattenelektrolys, PEM-elektrolysörer (polymer/proton electrolyte membrane) och SOEC (Solid Oxide Electrolysis). SOEC är en ny teknik som inte är lika beprövad, behöver höga tryck och temperaturer samt än så länge dyr. Alkalisk vattenelektrolys är den billigaste tekniken och passar för stora anläggningar, dock kan vätgasen behöva renas. PEM-elektrolysörer är en dyrare teknik och passar för mindre anläggningar samt har en snabbare uppstartstid. Med denna teknik behövs vätgasen inte renas och fungerar i reversibel drift. För de ovannämnda teknikerna förväntas kostnaden minska de närmsta åren och livslängden är runt 5-10 år (Eide & Lundqvist 2021). I dagsläget är det vanligt att vätgas produceras storskaligt och att vätgasen köps komprimerad till 200 bar i cylindrar. Priset för vätgas på tankstationer förväntas idag vara inom intervallet 80-100 kr/kg samt estimeras till 20 kr/kg år 2030 och 10 kr/kg år 2050 (Eide & Lundqvist 2021). Företaget Linde säljer vätgas i cylindrar med 200 bar där transport ingår (Linde 2020 se Eide & Lundqvist 2021).

Lagringen av vätgas innefattar många olika metoder men det kan konstateras att komprimerad vätgas passar bäst för ändamålet. Gasen komprimeras för ökad energidensiteten och minska volymbehovet. Vanligtvis förvaras gasen i 200 bar, då kan den förvaras i 30-40 år (Mattsson & Lindberg 2020 se Eide & Lundqvist 2021).

Bränslecellen är det sista steget i processen, även här finns det många olika tekniker men PEMFC (Proton exchange membrane fuel cel) framstår mest lämpad för ändamålet. Denna typ av bränslecell passar för transportfordon och reservkraftverk. Tekniken har en uppstartstid på 3 sekunder, drifttemperatur på 30-100 grader och en livslängd runt 20 år. Verkningsgraden på en bränslecell ligger runt 45% men kan också uppgå till 60% och från bränslecellen fås elektrisk energi i form av likström och syrgas som restprodukt (Eide & Lundqvist 2021). Företaget PowerCell tillverkar en bränslecell för 100 kW med verkningsgraden 45% (Powercell se Eide & Lundqvist 2021). Investeringskostnaden är ungefär 2 miljoner (Atterby & Wahlund 2020 se Eide & Lundqvist 2021).

För att vätgassystemet ska fungera behövs även en kompressor mellan elektrolys och lagring med anledning att höja trycket och komprimera gasen. Utöver detta behövs en regulator mellan lagringen och bränslecellen för att sänka trycket igen. Detta görs för att spara volym då både elektrolysen och bränslecellen arbetar mellan 0-30 bar medan lagringen sker vid minst 200 bar. Vald membrankompressor för beräkningar var Hofer MKZ450-10/280-25 med sugkapacitet på 112 Nm³/h, som betyder normalkubikmeter per timme, alltså i förhållanden som 25 Celsius och 1 atmosfärstryck (Hofer 2021 se Eide & Lundqvist 2021) och vald regulator är ELGA Maxex med ingångstryck 200 bar (Svets och tillbehör 2021 se Eide & Lundqvist 2021).

För att förstå elanvändning, kostnader och utsläpp för hela systemet jämfördes två olika elektrolyser med att köpa in vätgas själva. Bränslecellen och regulatorn är gemensamma för systemen. I dessa beräkningar används bränslecellen från PowerCell. För att kunna tillgodose elbehovet under ett 10 timmars strömavbrott behövs 733 Nm³ vätgas räknat med verkningsgraden från PowerCells bränslecell. Vid beräkningar för elanvändning inkluderades kompressorn från Hofer, volymkapaciteten för kompressorn var inget begränsade i beräkningarna.

De två elektrolyterna som jämfördes var Electrolyter EL 2.1 och Hydrogen Pro 10 Nm³/h som kan ses i tabell 2. Om vätgasen istället köptes in från företaget Linde kostar tillräckligt med vätgas 100 870 kr/strömavbrott inklusive hyra och transport av cylindrarna. Köps större volymer in blir kostnaden mindre per liter. När dessa tre förslag jämförs är det mest lönsamt att köpa in vätgasen de 20 första strömavbrotten, efter det är Electrolyter EL 2.1 bättre och ännu längre tid för Hydrogen Pro 10 Nm³/h, 20 strömavbrott motsvarar 10 år. Då en elektrolys har en livstid på 5-10 år blir det inte mer lönsamt för Håbo kommuns reservkraftanläggning att producera egen vätgas jämfört med att köpa in vätgasen (Eide, Borg & Lundqvist 2021).

Tabell 2. Jämförande tabell över Electrolyter 2.1 och Hydrogen Pro 10 Nm³/h (Eide, Borg & Lundqvist 2021).

	Inköpspris (M SEK)	Total elanvändning för 10h (kWh)	Antak dagar att producera vätgasen (733 Nm ³)
Electrolyter 2.1	1,5- 2,5	3 400	61,1
Hydrogen Pro 10 Nm ³ /h	6,7	3 700	3,1

Produktion av vätgas är en energikrävande process, för de två elektrolyser som jämförts krävs det ungefär 3600 kWh för att producera tillräckligt med vätgas för ett strömavbrott. Då produktionen sker i Sverige och företaget Linde som vätgasen kan köpas ifrån använder sig av grön el valdes det att räkna med den Svenska elmixen som släpper ut 20 g CO₂-ekv/kWh (uniper 2021 se Eide & Lundqvist 2021). Med hjälp av dessa siffror beräknades utsläppen till 72 g CO₂-ekv/kWh för den producerade elen efter bränslecellen. Även fast vätgasen inte produceras på plats utan av ett företag antas det vara likvärdigt. Klimatpåverkan för PEM elektrolys är 1,78 kg CO₂-ekv/1 kg vätgas och en cell i bränslecellen 0,34 g CO₂-ekv/1 kg vätgas (Zhao & Pedersen 2018 se Eide & Lundqvist 2021). Med omräkningar till kWh och antal bränsleceller som finns i PowerCells produkt släpper den ut 3,09 g CO₂-ekv/kWh och elektrolysen släpper ut 53,9 g CO₂-ekv/kWh, totala utsläppen för produkterna från produktion och förbränning av vätgasen resulterar i 57 g CO₂-ekv/kWh (Eide & Lundqvist 2021).

3.3 Biodrivmedel

3.3.1 Hydrated Vegetable Oils (HVO)

HVO är kort för "Hydrated Vegetable Oils" och är ett förnybart biodiesel som tillverkas av vegetabiliska oljor och restprodukter av olika slag. En av de främsta fördelarna med bränslet är att det har en näst intill identisk struktur i jämförelse med fossil diesel och att det är möjligt att blanda dem efter önskemål. Detta innebär också att det i många fall går att tanka en dieselmotor med HVO utan att några större modifieringar krävs, detta innefattar i många fall även dieselgeneratorer. För att minimera utsläppen mest bör HVO100 användas vilket är en 100 procentig HVO som alla uträkningar baserats på i denna studie (Viklander 2021).

Hur hållbart HVO är som bränsle beror på vilka produkter som används och hur den elektriska energin som används genererats. Svenskproducerad HVO har en låg klimatpåverkan på 32 gCO₂-ekv/kWh räknat på en nordisk el-mix med ett utsläpp på 46,8 gCO₂-ekv/kWh. Att använda HVO istället för fossil diesel som har ett utsläpp på 278 gCO₂-ekv/kWh innebär en minskning av utsläpp av växthusgaser på nästan 90 %. I Sverige används

vid tillverkningen främst restprodukter från skogsindustrin i form av råttolja, slakteriavfall men även en hel del PFAD. PFAD är en restprodukt från palmoljeindustrin och genererar inte några utsläpp idag. I framtiden är det viktigt att nyttjandet av PFAD inte ökar efterfrågan på palmolja. Då kan PFAD inte längre hanteras som restprodukt vilket påverkar utsläppen och hållbarheten (Viklander 2021).

En dieselgenerator är en välutvecklad och beprövad lösning för reservkraft, idag finns det en hel del produkter på marknaden som är godkända för HVO vilket gör det till en lösning med låg klimatpåverkan. En dieselgenerator består av HVO-tankad dieselmotor som driver en generator som är direkt kopplad till pumphuset. En dieselgenerator kan ha en svarstid på upp till 30 sekunder vilket är acceptabelt i detta fall eftersom pumphusets styrsystem är utrustat med en backup-källa som kompenserar för dieselgeneratorns svarstid. Underhåll är viktigt för att ha en lång livslängd (Viklander 2021).

Verkningsgraden för en dieselgenerator ligger generellt runt 30-35 %. En uppskattning på kostnaden för en HVO-dieselgenerator på 100 kVA (~ 100 kW) ger ett intervall omkring 200 000 – 350 000 kr, exkluderat transport och installation. Kostnad per strömbrott för bränslet baserat på att en 250 liters tank räcker 10 timmar är cirka 4 350 kr. Med en dieselgenerator som drivs 2 cykler på 10 timmar varje år under 30 års tid blir kostnaden mellan 3 300 – 5800 kr per cykel för generatoren eller mellan 7 700 – 10 200 kr per cykel för generator samt bränslet. För en 10 timmars cykel släpper bränslet ut 105 600 g CO₂-ekv ut räknat på en verkningsgrad på 33 %. Olyckligtvis hittades inga detaljerade och genomgående livscykelanalyser för dieselgeneratoren så bidrag från denne har inte inkluderats i utsläppsberäkningarna (Viklander 2021). Inom EU finns kvotplikten, denna bestämmer hur stor andel biobränslen som ska blandas in i de fossila bränslena. Kvotplikten kommer öka med åren vilket kommer öka efterfrågan på HVO och därigenom även öka priset.

Reservaggregatet kommer endast att drivas ett fåtal timmar per år med långa mellanrum, detta kan medföra komplikationer. HVO bildar med tid alger som samlas i botten på bränsletanken, dessa alger kan i värsta fall täppa igen vitala delar av bränslesystemet. Generellt brukar det ta ett kvartal utan drift för att detta problem ska bli påtagligt. Utöver detta ökar HVO:s viskositet mer än fossil diesel vid låga temperaturer vilket också kan påverka prestandan. En vanlig lösning för dessa problem är att varmhålla HVO:n vid 60 grader Celsius, då beter sig HVO:n som fossil diesel och kan lagras länge. Någon typ av uppvärmd tank räcker och är ett bra alternativ. En lösning som endast minimerar stopp i bränslesystemet är att ha två separata system så att ett alltid är driftdugligt (Viklander 2021).

3.3.2 Biogas

Biogas är ett förnyelsebart energislag som produceras vid rötning av organiskt material. De vanligaste användningsområdena för biogas idag är som drivmedel i gasdrivna fordon men kan även användas för produktion av elektrisk energi och värme. Att låta biogas driva en mer småskalig generator, vilket är av intresse, är en jämförelsevis ny teknik. Det finns olika typer av motorer som lämpar sig olika bra för att drivas på biogas. Den klassiska dieselmotorn kan inte drivas med enbart biogas utan kräver en viss inblandning av diesel och är därför inte ett alternativ för vår förnyelsebara reservkraft. Gasmotorer är å andra sidan lämpade att drivas på enbart biogas och det finns många återförsäljare som erbjuder naturgasdrivna motorer som enkelt kan konverteras till att drivas på biogas. En gasmotor är en förbränningsmotor där en brännbargasblandning antänds med hjälp av ett tändstift och driver en kolv. Gasmotorer har en verkningsgrad på 35 - 40%. Ytterligare ett alternativ för biogasdriven motor är gasturbinen som är en roterande motor som drivs av flödet av förbränningsgaserna. Det finns specifika

gasturbiner som är anpassade för småskaliga kraftverk i storleksordning 30-200 kW. Dessa kallas för mikroturbiner och har en verkningsgrad på 26 - 33%, vilket är något lägre än både gasmotor och dieselmotor men det beror på att verkningsgraden är starkt kopplat till storleken på motorn. Ju större effekt på motorn desto högre verkningsgrad (Borg 2021).

En biogasdriven generators miljöpåverkan beror främst av bränslets utsläpp vid produktion och användning. För att ta fram biogasens miljöpåverkan genomför man en livscykelanalys där man tar in alla aspekter vid produktionen, som t.ex. ursprunget av det organiska materialet. Svensktillverkad biogas har utsläpp mellan 21 och 97 g CO₂-ekv/kWh vilket är ett stort intervall och kan därför påverka noggrannheten i våra slutsatser. För att få ett mer exakt värde på biogasens klimatpåverkan har vi varit i kontakt med Eon som har en biogasanläggning i närheten av pumpstationen i Håbo kommun. Vi har fått ta del av information om biogasens klimatpåverkan som är 57 g CO₂-ekv/kWh vilket är vad vi använder i kommande jämförelser (Borg 2021).

Kostnaden för en biogasdriven generator på 100 kVA är uppskattningsvis 0.9 – 1.2 miljoner kronor och bränslekostnaderna för ett strömavbrott på 10h uppgår till runt 4500 – 11 500 kr. Utsläppen som genereras av elproduktion vid ett strömavbrott är 160 – 187 kg CO₂-ekv vilket har beräknats med en verkningsgrad på 30 - 35%. Något som bör tas hänsyn till när man räknar på miljöpåverkan för en biogaskraftgenerator är utsläppen och resursanvändningen vid tillverkningen av själva generatoren. Tyvärr har inga sådana analyser hittats och den miljöpåverkan inkluderas därför inte här (Borg 2021).

3.4 Aktuella lösningar – tre system

Tabell 3. Sammanfattande tabell över de tre systemlösningarna.

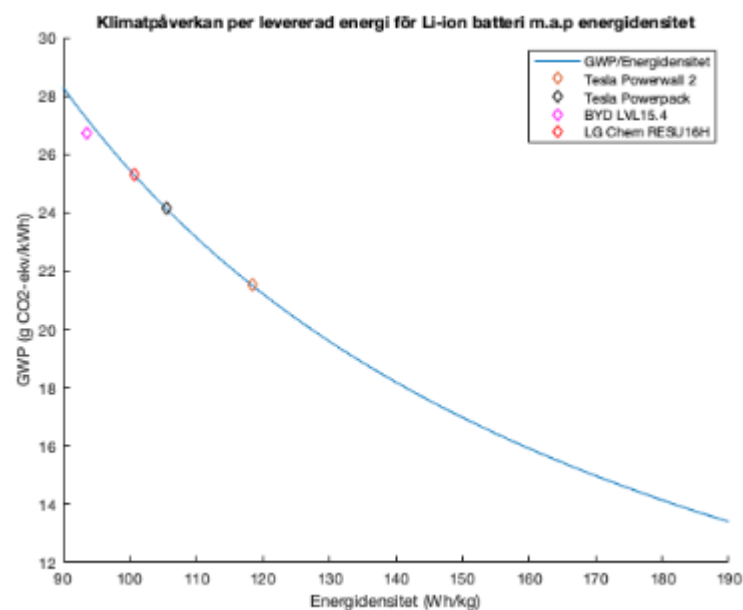
System	Investeringskostnad (M SEK)	Driftkostnad per strömavbrott (SEK)	Klimatpåverkan, drift (g CO ₂ - ekv/kWh)	Tillförlitlighet (svarstid i sek)
Solceller & Litium- jonbatteri	4,5	0	62,5 – 67,7	~ 0
Vätgas med bränslecell	2,0	100 870	72,0	~ 3
HVO	0,3	4340	32,0	~ 30

3.4.1 Solceller och batterilagring

Den förslagna lösningen innefattar en solpanel av modellen SoliTek STANDARD 330 W. Panelen har vid jämförelse visat på bra egenskaper kring pris, effekt/verkningsgrad, garanti och klimat (Clarstedt, Udd 2021). Verkningsgraden för panelen ligger på ca 20% enligt tillverkaren och panelen är baserad på monokristallin kiselteknik. (SoliTek se Clarstedt, Udd 2021) Den möjliga takytan på 68 kvm ger möjlighet för placering av 40 paneler. Detta ger anläggningen en maximal effekt på ca 13 kW. Den årliga totalproduktionen beräknas ligga runt 12 000 kWh enligt beräkningsmodellen och kostnadsbesparingarna uppnå ca 12 000 kr/år. Kostnad för panelerna uppgår till 64 800 kr därefter tillkommer kostnader för växelriktare och installation. Totalkostnad för solanläggningen uppskattas ligga mellan 100 000 - 150 000 kr. Klimatpåverkan enligt tillverkaren var 0 g CO₂-ekv/kWh för solpanelerna

då det anger att endast förnybar elektrisk energi används vid tillverkningen. Data för hela produktionskedjan har dock inte kunnat spåras och utsläppen bör därför tolkas med varsamhet. Därför har genomsnittlig utsläppsdata för solceller på 41 g CO₂-ekv/kWh använts.

Batteriet som valts till systemet är Litium-jonbatteriet, batteriet är välutvecklat och kan ses i liknande system med solpaneler. Svarstiden på batteriet är inom millisekunder, vilket är önskvärt samt att uppladdningstiden är snabb och ligger mellan 2-3 h. Det har inte valts en specifik leverantör utan beräknats övergripande på några olika varianter av batteriet. De här är Tesla Powerwall 2, Tesla Powerpack, BYD LVL 15.4 och LG Chem RESU16H. I figur 1 kan GWP (klimatpåverkan) ses som en funktion av energidensiteten, tillsammans med fyra olika batterier inprickade. Energidensiteten kan variera mellan 90-190 Wh/kg (Eide, Lernstål, Viklander, & Broman, 2021). Utifrån bilden kan det avläsas att beroende på batteriet och energidensitet fås en varierande klimatpåverkan.

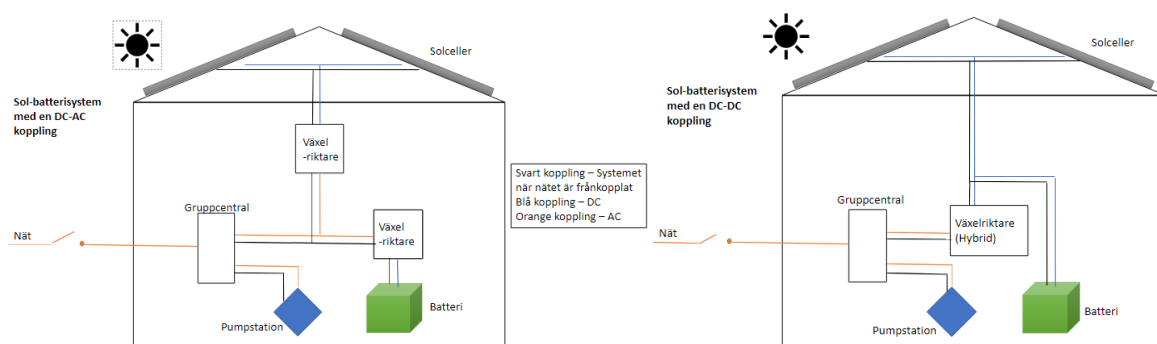


Figur 1: Klimatpåverkan per enhet levererad energi för Litium-jonbatteriet med avseende på energidensitet. Beräknat för 2500 cykler över sin livstid (Eide, Lernstål, Viklander & Broman 2021).

Utifrån de givna batterierna i figur 1 har ett medelvärde för batteriernas parametrar tagits fram så att anläggningen uppnår önskad effekt. Tesla Powerpack är ansedd för industriell skala och om detta väljs behövs 5 batterier. Väljer man istället någon av de andra batterierna, som används i mindre skala, skulle 63-74 stycken batterier behövas. Genomsnittskostnaden för batteriet uppgår till 3,8 – 4,9 miljoner SEK, volymen varierar mellan 9,5 – 15,3 kubikmeter och vikten uppskattas till 8500 – 10500 kg (Eide, Lernstål, Viklander, & Broman, 2021). Klimatpåverkan för de olika batterierna har beräknats med hjälp av utsläppsdata från Ecoinvent, vilket var 6,365 kg CO₂-ekv/kg batteri (Hischier et.al, 2009 se Eide, Lernstål, Viklander, & Broman, 2021). Med hjälp av batteriernas energidensitet kunde sedan specifika utsläppsvärden beräknas, dessa varierar mellan 21,5 - 26,7 CO₂-ekv/kWh i fallet där batteriet används kontinuerligt under hela livstiden. Som reservkraft och fallet där det istället används två gånger per år det vill säga totalt 40 gånger under en livstid fås istället en klimatpåverkan med ett värde runt 1,7 kg CO₂-ekv/kWh.

Kopplingen till batteriet kan ske på två olika sätt, direkt och indirekt. Direkt kopplas solpanelerna in till batteriet via två (en per väderstreck) MPPTer – DC/DC omvandlare för

effektivisering av produktionen och omvandling till laddbar batterispänning, vid fulladdat batteri omkopplas strömmen till en växelriktare för att leverera till nätet. Indirekt koppling sker genom att solpanelerna kopplas till en växelriktare och går ut på nätet. När batteriet laddas via nätet är det med indirekt egenproducerad elektricitet.



Figur 2. Systembilder över hur ett solcells/batterisystem kan utformas för reservkraft.

Den totala klimatpåverkan för systemet som helhet uppgår till 62,5 - 67,7 g CO₂-ekv/kWh. Detta beräknas utifrån att systemet används kontinuerligt och till sin fulla kapacitet. Vid användning för endast reservkraftsbehovet kommer utsläppen att vara högre. Vidare uppgår den totala kostanden för systemet till runt 4,5 miljoner SEK.

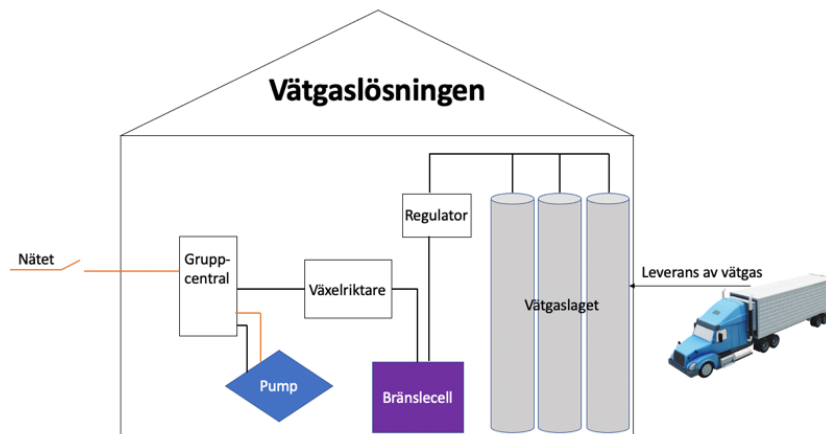
3.4.2 Bränsleceller och vätgaslagring

Då vätgas används som reservkraftverk i Håbo kommun passar det bäst att köpa in vätgasen istället för att producera själv. Systembeskrivning blir då att, vätgas köps in till ett vätgaslager för ett eller två strömavbrott, en regulator som sänker trycket för att sedan leda in vätgasen i bränslecellen. För ett strömavbrott behövs 4040 l vätgas vid 200 bar (733 Nm³). När vätgasen köps in måste man efter ett strömavbrott fylla på lagren med vätgas, det kan vara en fördel att köpa in extra så att det alltid finns. Leveransen valdes från företaget Linde som hjälper till med transport och cylindrar, samt bränslecellen togs från Powercell. Kostnaderna för systemet finns i tabell 4. Bränslecellen som valdes har en verkningsgrad på 45 %, klarar 100 kW, väger 170 kg och en volym på 284 l. Generell uppstartstid för en PEM bränsleceller är runt 3 sekunder. Utsläpp för systemet är ihop räknat från olika källor och antaganden vilket gav att produktionen för bränslecellen släpper ut 3,09 g CO₂-ekv/kWh, produktionen för en elektrolysen släpper ut cirka 53,9 g CO₂-ekv/kWh, och elen som används vid produktionen släpper ut 72 g CO₂-ekv/kWh producerad elektrisk energi från vätgasen. Om vätgas ska implementeras behöver närmare studier göras med avseende på säkerheten och tillstånd (Eide & Lundqvist 2021).

	Kostnad
Hyra för cylindrarna	15 334 SEK/strömavbrott
Transport	7 241 SEK/strömavbrott
Lagring	78 295 SEK/strömavbrott
Regulator	1 400 SEK
Bränslecell	2 M SEK

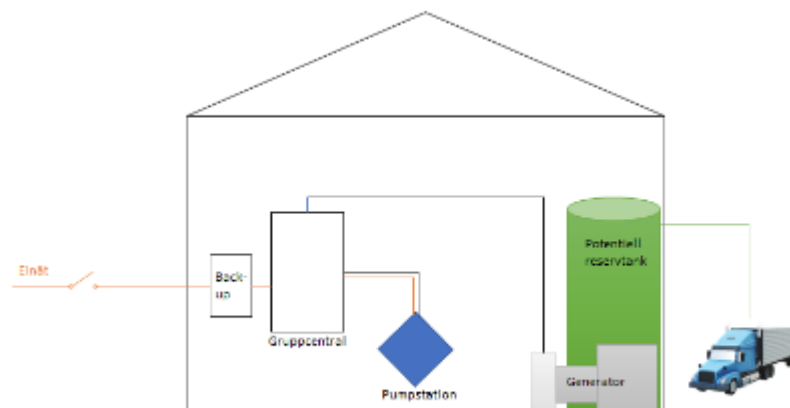
Tabell 4. Kostnadsbeskrivning över vätgaslösningen

Figur 3. Systembeskrivning för vätgaslösningen



3.4.3 Generator och HVO

En HVO-diesलगenerator som system kommer bestå av en diesलगenerator direkt kopplat till pumphuset och kommer endast driftsättas vid strömbrott som reservkraft. Svarstiden kan vara upp till 30 sekunder vilket är acceptabelt då känsliga systemkomponenter redan är kopplade till ett separat back-up system (Viklander 2021).



Figur 4. Systembild över hur en HVO-diesलगenerator kan utformas för reservkraft.

Referensaggregatet ATLAS COPCO QAS 100 krävde 250 l för att kunna generera 100 kVA i 10 timmar vilket motsvarar 4350 kr. Baserat på ett utsläpp från HVO på 32 g CO₂-ekv/kWh motsvarar detta 105 600 gCO₂-ekv för 10 timmar (exklusive produktion av aggregat). Själva aggregatet med frakt och installation exkluderat kostar omkring 300 000 kr (Viklander 2021).

En viktig aspekt när HVO används till reservkraft är problematiken med förtjockning vid låga temperaturer samt bildandet av alger vid stagnation. Genom att värma upp bränsletanken så att HVO:n håller en temperatur på 60 °C elimineras dessa problem och HVO-diesलगeneratoren kan fungera optimalt (Viklander 2021).

4. Diskussion

I systemstudien har flertalet potentiella tekniker och systemlösningar undersökts. Majoriteten av teknikerna som presenterades i resultatdelen passar inte för ändamålet vilket ledde till tre slutliga alternativ. De tre alternativen presenterade i resultatdel 3.4 är dimensionerade för att klara krav på tid och effekt som tilldelats i uppgiften. De tre slutliga systemen har potentialen att minska utsläppen markant i jämförelse med ett konventionellt dieselaggregat. Diesel genererar utsläpp omkring 278 g CO₂-ekv/kWh (Viklander 2021). I tabell 3 ses att samtliga lösningar genererar mindre utsläpp än diesel.

En av de främsta fördelarna med en HVO-diesलगenerator jämfört med de två andra systemen är den låga kostnaden både vid inköp och drift. Trots att det har varit problematiskt att hitta tydliga och kompletta priser tyder systemstudien på att priset ligger omkring 200 000 – 350 000 kr för själva generatoren och med största sannolikhet under 500 000 kr för hela systemet med frakt och installation. Även fast det slutgiltiga priset är svårt att fastställa är det säkert att denna lösning är den billigaste av de tre eftersom de två andra systemen har kostnader i miljonklassen. Vidare visar studien på att en HVO-diesलगenerator är det alternativ som genererar minst utsläpp av växthusgaser vilket också är en klar fördel. Det är viktigt att ha i åtanke att produktionen av generatoren inte räknats med i klimatpåverkan eftersom att ingen data kunnat hittas. Oavsett kommer detta system med största sannolikhet ändå ha lägst klimatpåverkan i längden då de andra förslagen har väldigt stora utsläpp i samband med produktion. HVO-diesलगeneratoren har goda förutsättningar för en lång livslängd, förutsatt att aggregatet underhålls i enlighet med anvisningar från tillverkare. Eftersom att livslängden för dieselaggregat ofta mäts i antal timmar drift är det svårt att säga exakt vilken livslängd som kan förväntas i detta fall men med rätt underhåll bör en HVO-diesलगenerator ha en längre livstid än de två andra systemen. Diesलगeneratoren är en etablerad teknik som använts en längre tid. Vilket innebär att det finns gott om kompetens och kunskap samt att tekniken under tid har optimerats vilket innebär att dagens diesलगeneratorer är både effektiva och pålitliga. Svenskproducerad HVO finns tillgängligt för leverans till alla kommuner i landet och finns lättillgängligt för Håbo kommun. En anmärkningsvärd poäng är att kvotplikten kommer att fortsätta att höjas vilket leder till större och större andel HVO utblandat i vanlig fossil diesel vilket kommer öka efterfrågan och då även priset på kort sikt. I längden kan detta leda till ökade investeringar och ett ökat intresse för HVO vilket kan gynna bränslet i längden. Problem som kan uppstå vid användandet av HVO istället för fossil diesel är bildandet av alger samt den trögflytande karaktären vid kalla utetemperaturer. Dessa problem löses enklast genom att hålla HVO:n vid en temperatur på 60 °C, idealt genom en uppvärmd tank. Denna kan drivas antingen via nätet eller genom en förnybar lösning som exempelvis solceller.

Batterier och solceller skulle i teorin gå utmärkt att använda som reservkraftsystem. De har de positiva egenskaperna att svarstiden är omedelbar samt att uppladdningen över ett år sker med egenproducerad grön elektrisk energi. Den gröna elektriska energin skulle kunna produceras under nästintill hela solcellernas livslängd, vilket uppgår till 30 år. Det gör att driftskostnaderna och driftutsläppen blir väldigt låga och kan till och med generera inkomst beroende på antal avbrott per år. Detta är den lösning som över året är billigast i drift och kräver dessutom lågt underhåll. Däremot är investeringskostnaderna väldigt höga för dagens batterisystem av den önskade storleken. Högst av de tre lösningarna. Dessutom är det en ofördelaktig lösning rent miljömässigt om systemet endast används som reservkraft ett fåtal gånger per år. Den miljödata som presenterats i resultatdelen ges av att solpanelerna släpper ut ett medelvärde av koldioxid och att batteriet genomgår 2 500 cykler över sin livstid. Solcellernas medelvärde för utsläpp vid produktion är baserat på världsproduktionen där en stor del är i tillverkade i Kina. En panel gjord i Europa kommer ha en mindre klimatpåverkan

än medelvärde då elmixen i Europa har lägre klimatpåverkan än den kinesiska elmixen. Att 2 500 cykler skulle kunna genomföras när avbrotten är ca två per år är orimligt och utsläppen per kWh kommer därför vara betydligt högre än de som angivits. Detta då livstiden för batterierna antingen är 2 500 cykler eller 10-15 år, och utsläppen räknar per använd kWh över denna tid. För att åtgärda detta skulle systemet kunnat göras mer integrerat. Hur detta skulle kunna göras är ett större arbete, men i översikt skulle ett integrerat system kunna laddas och drivas över dagen med en större solcellsanläggning och sedan drivas med batteriet över natten. För att behålla reservkrafts-syftet bör systemet känna av när batterierna når den kritiska nivån, vilket är mängden energi som behövs för att kunna försörja systemet vid ett avbrott och då slå över till nät drift vid behov. Alternativt vid en mindre dimensionering ha en kostnadsdrift. Batteriet driver således pumparna då elpriset är högt och laddas då elpriset är lågt. Potentialen för detta system är stort och som integrerat system kan det både bli en bra ekonomisk som miljömässig lösning.

Lagring av vätgas har en tydlig fördel i att gasen kan stå under en mycket lång tid utan att påverkas (30-40 år), underhållet är mer eller mindre obefintligt i samband med att lagringskärnen hålls skyddade. Vidare har, precis som de andra alternativen, vätgasen en kort uppstartstid i samband med att gasen endast behöver extraheras ur kärnen och omvandlas tillbaka till energi och syrgas i bränslecellen. Användningen av vätgas som reservkraft har mycket potential inom snar framtid i och med att nya tekniker för framställning och lagring av vätgas utvecklas ständigt. Priset på vätgas väntas sjunka kraftigt inom en relativt kort tidsperiod på 10 år, vilket beror på att tekniken och användningen av vätgas blir mer kommersiell/lönsam. Utgifterna för alternativet med vätgas uppstår i samband med inköpet av en bränslecell, vilket kostar omkring 2 miljoner kronor, och sedan den kontinuerliga årliga utgiften av inköpt vätgas till lagring, på ungefär runt 100 000 kronor/strömavbrott. Problematiken hos vätgasen uppstår framför allt i samband med att användningen har dyra driftkostnader, inköp av vätgas blir kostsamt om det förekommer fler avbrott än dimensionerat för. En annan negativ aspekt är att tillgängligheten är beroende på vilken dimensionering vätgaslagringen har, dock sker det sällan längre strömavbrott än 10 timmar hos anläggningen med den energianvändning och den beräknade dimensionering vi har föreslagit. Vidare kan man notera att utsläppen för hela systemet inklusive elektrolysen, elanvändningen för elektrolysen och bränslecellen släpper ut 129 g CO₂e/kWh, vilket är högt i jämförelse med de andra systemen. För att kunna jämföra systemen är det mer relevant att endast beakta bränslecellens utsläpp, vilket är 53,9 g CO₂e/kWh då endast bränslecellen finns på anläggningen. En ytterligare aspekt som bör beaktas gällande vätgas är att det finns en säkerhetsrisk och det krävs viss anpassning för att systemet ska fungera eftersom vätgas är en mycket explosiv gas.

5. Slutsats

Utifrån frågeställningarna har tre förslag om fossilfri reservkraft utvecklats, *HVO-diesलगenerator, batteri och solcellssystem och ett vätgassystem* efter att ett flertal andra undersökts. Samtliga har potential att minska utsläppen jämfört med dieselbaserade system som använts tidigare. Ur ett ekonomiskt perspektiv är HVO-systemet konkurrenskraftigt. Både vätgas-systemet samt solceller kombinerat med batterilagring kan implementeras idag, men anses ha en större potential i framtiden och vidare optimeringar kan behövas.

6. Referenser

- Borg, S. (2021). *Biogasgenerator* [Opublicerat material] Studentarbete Uppsala Universitet: Uppsala. **Nr 3.2**
- Broman, M. (2021a). *Superkondensatorer* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala universitet. **Nr 1.6**
- Broman, M. (2021b). *Zinkbromid flödesbatteri* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala universitet. **Nr 1.9**
- Broman, M. & Lernstål, E. (2021). *Natriumsvavelbatterier* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala universitet. **Nr 1.4**
- Clarstedt P. (2021). *Sol – Bakgrund och möjligheter* [Opublicerat material] Studentarbete Uppsala Universitet: Uppsala. **Nr 2.2**
- Clarstedt, P. Udd, E (2021). *Nätanslutning och andra komponenter* [Opublicerat material] Studentarbete Uppsala Universitet: Uppsala. **Nr 2.4**
- Clarstedt, P. Udd, E. (2021). *Sammanfattad produktion* [Opublicerat material] Studentarbete Uppsala Universitet: Uppsala. **Nr 2.5**
- Eide, M. & Lundqvist, O. (2021). *Vätgas och bränsleceller* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala Universitet. **Nr 1.8**
- Eide, M., Borg, S. & Lundqvist, O. (2021). *Jämförande analys av vätgas* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala Universitet. **Nr 1.10**
- Eide, M., Lernstål, E Viklander, A. & Broman, M. (2021). *Litiumjon batterier* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala universitet. **Nr 1.3**
- Lernstål, E. (2021a). *Komprimerad luft* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala universitet. **Nr 1.2**
- Lernstål, E. (2021b). *Blybatteri* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala universitet. **Nr 1.1**
- Lernstål, E. (2021c). *Vanadin-Redox-Flödesbatteri* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala universitet. **Nr 1.7**
- Lundqvist, O. (2021). *Elektrisk energi från solen – bakgrund och teori.* [Opublicerat material] Studentarbete Uppsala Universitet: Uppsala **Nr 2.1**
- Sjölund, Ronny; VA-planerare och biträdande driftchef. Håbo Kommun. 2021. Fältstudie 14 April.
- Udd, E. (2021). *Vindkraft, beslutsunderlag-En undersökande studie om potentialen av vindkraft för reservkraftsanläggningen för en pumpstation i Håbo kommun.* [Opublicerat material] Studentarbete Uppsala universitet: Uppsala. **Nr 2.3**
- Viklander, A (2021). *HVO-dieselgenerator.* [Opublicerat material] Studentarbete Uppsala Universitet: Uppsala. **Nr 3.1**
- Viklander, A., Broman, M., Eide, M. & Lernstål, E. (2021) *Sammanfattning av batterier* [Opublicerat material]. Uppsala: Uppsala universitet. **Nr 1.11**

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000